

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-98342
(P2001-98342A)

(43)公開日 平成13年4月10日(2001.4.10)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 Z 4 K 0 3 2
C 2 1 D 8/00		C 2 1 D 8/00	B
C 2 2 C 38/26		C 2 2 C 38/26	

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平11-272964

(22)出願日 平成11年9月27日(1999.9.27)

(71)出願人 000004123

日本鋼管株式会社

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号

(72)発明者 横山 泰康

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日
本鋼管株式会社内

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外4名)

Fターム(参考) 4K032 AA05 AA11 AA12 AA16 AA17
AA19 AA20 AA22 AA23 AA27
AA29 AA31 AA36 BA00 CA03
CC03 CC04 CD01 CD02

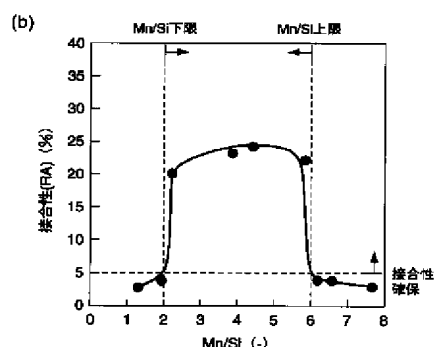
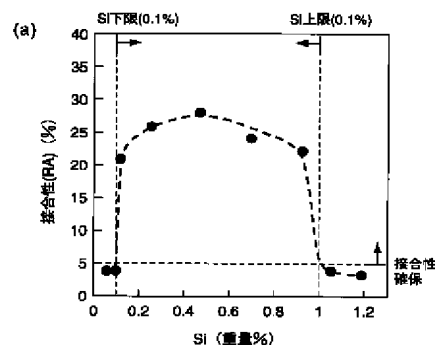
(54)【発明の名称】 フラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレール及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】フラッシュバット溶接時の接合性を従来のパーライトレールと同等とした上で優れた耐摩耗性、耐損傷性を有するベイナイトレールを提供する。

【解決手段】重量%で、C：0.25～0.4%と、Si：0.1～1%と、Mn：0.6～3.5%と、P：0.035%以下と、S：0.035%以下と、Cr：0.05～2%と、Nb：0.05～0.15%とを含有し、かつ下記(1)式を満たす鋼からなるレールであって、レール頭部がベイナイト組織であり、硬さがレール頭頂部および頭部コーナー部のいずれの位置においてもHV：400～500であることを特徴とする。

$$2 \leq \text{Mn}\% / \text{Si}\% \leq 6 \quad \cdots (1)$$



【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量%で、C：0.25～0.4%と、Si：0.1～1%と、Mn：0.6～3.5%と、P：0.035%以下と、S：0.035%以下と、Cr：0.05～2%と、Nb：0.05～0.15%とを含有し、かつ下記(1)式を満たす鋼からなるレールであって、

レール頭部がベイナイト組織であり、硬さがレール頭部および頭部コーナー部のいずれの位置においてもHV：400～500であることを特徴とする、フラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレール。

$$2 \leq \text{Mn} \% / \text{Si} \% \leq 6 \quad \cdots (1)$$

【請求項2】 鋼成分として、重量%でさらに、Ni：1%以下、Mo：2%以下のうちの1種または2種を含有することを特徴とする、請求項1に記載のフラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレール。

【請求項3】 鋼成分として、重量%でさらに、V：0.2%以下を含有することを特徴とする、請求項1または2に記載のフラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレール。

【請求項4】 請求項1乃至3のいずれかに記載の組成を有する鋼を、圧延仕上温度が800～1000℃となるように熱間圧延する工程と、熱間圧延された鋼板を、ベイナイト変態開始点以上の温度から200℃以下までを空冷以上5℃/秒以下の冷却速度で冷却する工程と、

を備えたことを特徴とする、フラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレールの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、鉱山鉄道に代表される高荷重の貨車の走行が主体の高軸重鉄道における車輪とレールの接触条件下で要求される耐摩耗性、耐フレーキング性等の耐損傷性に加えて、フラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレール及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来レールは、耐摩耗性重視の観点からパーライト鋼を用いて高強度化のみが指向されてきた。しかし近年の鉄道輸送の高速化、高軸重化に伴いレールの使用条件は、ますます厳しいものになってきている。特に鉱石を運搬する鉱山鉄道が主体の地域では、摩耗と曲線内軌のフレーキング等のレールの損傷が問題となっている。現用のパーライト鋼の熱処理レールは強度が1300MPa程度であり、耐摩耗性の観点ではこのレベルが必要であるが、耐損傷性は十分ではない。また工業的にはパーライト鋼で更なる耐摩耗性の向上と、他の耐損傷性の向上を同時に満たすことは困難である。

【0003】一方、ベイナイト鋼はパーライト鋼に比べ耐フレーキング性をはじめとする耐損傷性は優れているものの、耐摩耗性が低下することが問題となっている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】摩耗特性については特開平5-271871号公報、特開平8-92696号公報に開示されているベイナイト鋼の高強度レールにおいて述べられており、耐転動疲労損傷性の向上を目的とするためベイナイト鋼を適用し摩耗量を増加させることをめざしている。本手法は急曲線、高軸重条件下では、頭部の摩耗促進によりレール寿命が短くなるという欠点がある。

【0005】このように、ベイナイトレールでは主として摩耗量増加により耐転動疲労損傷性の向上をめざしており、摩耗量と強度のバランスを取ろうとする検討はされているが、強度の最適化は十分には行われていない。

【0006】従来レールは24～25mを基本長さとして端部近傍の腹部にボルト穴を開けて継ぎ目板をボルト接合することにより繋いでいた。この場合、夏冬の温度差に起因する熱膨張量を吸収するため継ぎ目に数～十数mmのすき間を有していた。しかし、このすき間は貨車通過時にレール、貨車の車輪および台車に衝撃を与え、レールでは継ぎ目用ボルト穴の破損、頭部の変形等の損傷に至る場合があった。特に近年では貨車重量の増加から損傷の発生の可能性が高くなってきたため、すき間のある継ぎ目を低減することを目的として、レールを溶接して使用する頻度が非常に高くなっており、溶接時の接合性が要求されてきている。

【0007】ベイナイトレールにおいて高強度化のために合金元素を添加する場合、フラッシュバット溶接時の接合性に問題が生じる可能性が高いが、このような観点からの検討はなされていない。

【0008】本発明の目的は、このような従来の問題に鑑み、フラッシュバット溶接時の接合性を従来のパーライトレールと同等とした上で優れた耐摩耗性、耐損傷性を有するベイナイトレール及びその製造方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決し目的を達成するために、本発明は以下に示す手段を用いている。

(1) 本発明のベイナイトレールは、重量%で、C：0.25～0.4%と、Si：0.1～1%と、Mn：0.6～3.5%と、P：0.035%以下と、S：0.035%以下と、Cr：0.05～2%と、Nb：0.05～0.15%とを含有し、かつ下記(1)式を満たす鋼からなるレールであって、レール頭部がベイナイト組織であり、硬さがレール頭部および頭部コーナー部のいずれの位置においてもHV：400～500であることを特徴とする、フラッシュバット溶接部の接合

性に優れた高強度ベイナイトレールである。

【0010】 $2 \leq \text{Mn}\% / \text{Si}\% \leq 6$ … (1)

(2) 本発明のベイナイトレールは、鋼成分として、重量%でさらに、Ni: 1%以下、Mo: 2%以下のうちの1種または2種を含有することを特徴とする、上記

(1)に記載のフラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレールである。

【0011】(3) 本発明のベイナイトレールは、鋼成分として、重量%でさらに、V: 0.2%以下を含有することを特徴とする、上記(1)または(2)に記載のフラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレール。

【0012】(4) 本発明のベイナイトレールは、上記(1)乃至(3)のいずれかに記載の組成を有する鋼を、圧延仕上温度が800~1000℃となるように熱間圧延する工程と、熱間圧延された鋼板を、ベイナイト変態開始点以上の温度から200℃以下までを空冷以上5℃/秒以下の冷却速度で冷却する工程と、を備えたことを特徴とする、フラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレールの製造方法である。

* 20

表 1

鋼No.	化 学 成 分 (重量%)									備考
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Mn/Si	
1 a-1	0.39	0.05*	0.29*	0.50	0.35	0.10	0.05	0	5.80	比較例
1 a-2	0.32	0.09*	0.41*	0.65	0.21	0.25	0.06	0.05	4.56	比較例
1 a-3	0.31	0.11	0.61	0.82	0	0.62	0.06	0.05	5.55	本発明例
1 a-4	0.35	0.25	1.30	0.52	0	0.51	0.10	0.05	5.20	本発明例
1 a-5	0.26	0.47	2.37	0.64	0	0.13	0.06	0	5.04	本発明例
1 a-6	0.35	0.69	2.69	0.64	0.15	1.05	0.07	0.02	3.90	本発明例
1 a-7	0.31	0.92	3.22	0.49	0.13	1.34	0.05	0	3.50	本発明例
1 a-8	0.32	1.05*	2.31	0.58	0.21	1.05	0.08	0.03	2.20	比較例
1 a-9	0.27	1.18*	2.45	0.51	0.18	0.15	0.11	0	2.08	比較例
1 b-1	0.39	0.46	0.61	0.50	0	0.10	0.05	0	1.33*	比較例
1 b-2	0.32	0.44	0.85	0.61	0.32	0.25	0.05	0	1.93*	比較例
1 b-3	0.31	0.33	0.74	0.67	0.16	1.05	0.05	0	2.24	本発明例
1 b-4	0.31	0.40	1.54	0.75	0	0.61	0.06	0	3.85	本発明例
1 b-5	0.26	0.58	2.55	0.81	0	0.11	0.07	0	4.40	本発明例
1 b-6	0.28	0.59	3.45	0.92	0.16	1.25	0.05	0	5.85	本発明例
1 b-7	0.29	0.24	1.49	0.97	0.31	1.32	0.06	0	6.21*	比較例
1 b-8	0.31	0.25	1.65	1.04	0.27	1.22	0.05	0	6.60*	比較例
1 b-9	0.27	0.29	2.22	1.41	0.37	0.27	0.11	0	7.66*	比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0018】図の縦軸は、40φの丸棒を用いてフラッシュバット溶接により溶接継手を作成し、継手の接合面が引張試験片の平行部中央になるように採取した試験片を用いて引張試験を行った時の破断部の絞り値の平均値を示しており、絞り値が大きいほど接合性が高いことを示している。図1(a)、(b)から理解できるように、Siが0.1%未満もしくは1%を超えた場合、あるいはMn%/Si%が2未満もしくは6を超えた場合は絞り値が5%以下となり、接合性の低下が著しい。

【0019】Siは酸化しやすい元素であり、鋼の脱酸材としても利用されているが、0.1%未満では十分な脱酸が行われず鋼の清浄性が劣化し、接合面に酸化物が残存する。また1%以上の多量添加の場合フラッシュ電流による加熱で接合面に緻密で安定な酸化皮膜を形成 ※

*【0013】

【発明の実施の形態】本発明者は、上記課題を解決すべく鋭意研究を重ねた結果、以下の知見を得るに至った。

【0014】(フラッシュバット溶接部の接合性) Si: 0.1~1%、かつ $2 \leq \text{Mn}\% / \text{Si}\% \leq 6$ を満足すること。

【0015】母材硬さがHV500以下であること。

【0016】レールの溶接方法にはフラッシュバット溶接、ガス圧接、エンクローズアーク溶接、テルミット溶接があるが、このうちフラッシュバット溶接、ガス圧接については、レール母材を加熱し接合することから、母材の接合性が問題となる。フラッシュバット溶接時の接合性については、母材の清浄性、フラッシュ電流による発熱時の接合面での酸化物生成、酸化物の溶融、アプセット時の酸化物の除去等が影響する。表1に成分を示す硬さがHV500以下のベイナイト鋼のフラッシュバット溶接時の接合性におよぼすSi, Mn%/Si%の影響を図1(a)、(b)に示す。

*【0017】

【表1】

※し、フラッシュバット溶接時の最終のアプセットにおいても接合面から除去されない。Siが1%以下の場合においても、Mn, Si, Feの複合酸化物の融点がMn%/Si%で2未満もしくは6を超えた領域では高温になり、接合面に残留する複合酸化物の粘性が相対的に高くなるためにアプセットにおいて除去され難い。従って、接合性の観点からSiは0.1~1%、Mn%/Si%は2~6とすることが必要である。

【0020】図2に溶接時の接合性に及ぼす母材硬さの影響を調べた結果を示す。表2に供試鋼の化学成分、母材硬さを示す。

*【0021】

【表2】

表 2

鋼No.	化 学 成 分 (重量%)									HV	備考
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Mn/Si		
2-1	0.28	0.15	0.88	0.56	0.10	0.80	0.05	0.05	5.87	305	* 比較例
2-2	0.26	0.95	2.05	0.12	0.11	0.10	0.07	0.05	2.16	349	* 比較例
2-3	0.37	0.34	1.95	0.65	0.60	0	0.09	0	5.74	384	* 比較例
2-4	0.31	0.26	1.49	0.90	0.20	0.50	0.07	0	5.73	405	本発明例
2-5	0.29	0.46	2.45	0.30	0	0.21	0.05	0	5.33	425	本発明例
2-6	0.27	0.19	0.65	0.50	0	1.55	0.06	0.15	3.42	436	本発明例
2-7	0.26	0.64	1.65	0.64	0	0.65	0.15	0	2.58	454	本発明例
2-8	0.27	0.98	2.19	0.50	0.80	0.20	0.07	0.12	2.23	470	本発明例
2-9	0.31	0.15	0.71	1.03	0	1.24	0.09	0.16	4.73	483	本発明例
2-10	0.33	0.57	2.08	0.85	0	0.36	0.05	0	3.65	491	本発明例
2-11	0.26	0.84	3.20	0.15	0	0.15	0.05	0	3.81	530	* 比較例
2-12	0.26	0.13	0.77	1.13	0	1.77	0.12	0	5.92	556	* 比較例
2-13	0.25	0.33	1.88	1.55	0.80	0.65	0.07	0	5.70	571	* 比較例
2-14	0.31	0.65	2.15	1.95	0	0.50	0.08	0	3.31	688	* 比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0022】図2から理解できるようにSi、Mn%/Si%の各々が本発明の請求範囲を満たしている場合でも母材硬さの上昇に伴い接合性は低下しており、特にHV500を超えた場合には絞り値が5%以下となり、実用上問題が生じる。またSi、Mn%/Si%のいずれかが本発明の請求範囲を満たさない場合はHV400～500の間でも接合性に問題がある。従って十分な接合性を確保するためにはSiは0.1～1%、Mn%/Si%は2～6、さらに母材硬さHV500以下であることが必要である。

【0023】この知見に基づき、本発明者は、鋼のSi、Mn/Si量と、熱間圧延における圧延仕上温度及び圧延後の冷却速度を一定範囲内に制御して、レール頭部の金属組織をベイナイトとし、かつレール頭頂部及び頭部コーナー部の硬さを一定範囲内に制御するようにして、フラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレール及びその製造方法を見出し、本発明を完成させた。

【0024】すなわち、本発明は、鋼組成、硬さ、ミクロ組織（金属組織）、及び製造条件を下記範囲に限定することにより、フラッシュバット溶接時の接合性を従来のパーライトレールと同等とした上で優れた耐摩耗性、耐損傷性を有するベイナイトレール及びその製造方法を提供することができる。

【0025】以下に本発明の成分添加理由、成分限定理由、硬さの限定理由、金属組織の限定理由及び製造条件の限定理由について説明する。

【0026】(1) 成分組成範囲、硬さ、及び金属組織

C: 0.25～0.4%

Cは強度及び耐摩耗性を確保するための必須元素であり、0.25%未満ではレール鋼としての硬さを安価に確保することが難しい。また、0.4%を超えるとレール頭部に脆いマルテンサイトが生成する。従って、0.25～0.4%に限定した。

【0027】Si: 0.1～1%

Siは、脱酸剤として有効なだけでなく、固溶して強度を上昇させる元素であるが、0.1%未満では脱酸効果が十分でないため鋼中の清浄度が劣化しており、フラッ

* シュバット溶接時の接合面に酸化物が残存し、接合性を劣化させる。また添加量が1%を超えた場合は、多量に固溶しているSiが緻密な酸化物としてフラッシュバット溶接時の接合面に生成し、新生面の接合を阻害することにより接合性を劣化させる。従って、0.1～1%に限定した。

【0028】Mn: 0.6～3.5%

Mnはベイナイト変態温度を低下させ焼入性を高めることによりレールの高強度化に寄与する元素である。しかし、0.6%未満では効果が小さく、3.5%を超えると鋼のミクロ偏析によるマルテンサイト組織を生じ易く、溶接熱影響部に材質劣化を来すので好ましくない。従って、0.6～3.5%に限定した。

【0029】P: 0.035%以下

Pは靱性を劣化することから、0.035%以下に限定した。

【0030】S: 0.035%以下

Sは主に介在物の形態で鋼中に存在するが、0.035%を超えるとこの介在物量が著しく増加し、脆化による材質の劣化を引き起こすので0.035%以下に限定した。

【0031】Cr: 0.05～2%

Crはベイナイト変態を促進する元素であり、本発明鋼のようにミクロ組織をベイナイト組織として高強度化を図るために非常に重要な元素である。0.05%未満ではミクロ組織が均一なベイナイト組織とならない。一方、2%を超えるとマルテンサイトが生成しやすくなる。従って、0.05～2%に限定した。

【0032】Nb: 0.05～0.15%

Nbはベイナイト変態を促進するだけでなく、圧延後に炭窒化物として析出することから、頭部の内部まで析出強化により硬さを高くし耐摩耗性を向上させる。ただし、この効果はNbで0.05%未満の添加では有効ではなく、また0.15%を超えて添加してもその効果は飽和してしまう。従って、0.05～0.15%に限定した。

$2 \leq \text{Mn}\% / \text{Si}\% \leq 6$

フラッシュバット溶接は、フラッシュ電流による接合面

の酸化皮膜の飛散と、発熱による酸化皮膜の溶融による除去を特徴の一つとしている。従って接合面に生成する酸化物も溶融しやすい組成とすることが望ましい。図1(b)から理解できるように、Mn%/Si%が2未満もしくは6を超える場合、絞り値が5%以下となり、接合性の低下が著しい。これは接合面に生成するFe-Mn-Si系複合酸化物が、Mn%/Si%で2~6の間であれば低融点となり除去されやすいためである。従って、フラッシュバット溶接部の接合性の観点からMn%/Si%の比を2~6に限定した。

【0033】さらに本発明では上記の成分以外に、必要に応じてNi, Mo, Vを以下の範囲で添加してもよい。

【0034】Ni: 1%以下、Mo: 2%以下
Ni, Moは、いずれもベイナイト変態を促進し、高強度化するのに有効な元素であるが、請求範囲を超えた添加ではその効果が飽和してしまう。従って、上記請求範囲内で1種または2種添加することは有効である。

【0035】V: 0.2%以下
Vは、Nbと同様に鋼中のCと結びついて圧延後に析出することから、頭部の内部まで析出強化により硬さを高くし耐摩耗性を向上させ、レールの寿命を延ばすために有効である。ただし、0.2%を超えて添加してもその効果は飽和してしまう。従って、上記請求範囲内でVを*

*添加することは有効である。

【0036】硬さ(耐摩耗性、耐損傷性): レール頭頂部、頭部コーナー部いずれの位置においてもHV400~500。

【0037】摩耗量については実数設における摩耗量で評価することが最も望ましいが、西原式摩耗試験機を用いて実際の接触条件をシミュレートした比較試験により評価する方法も有効である。この試験法を用いれば短期間で耐摩耗性(硬さと摩耗減量比の関係)を評価することができる。同様に耐損傷性についても比較試験が可能である。

【0038】図3(a)に摩耗減量比に及ぼす硬さの影響を調査した結果を示す。供試鋼は表3に成分を示す鋼で、1250℃に加熱し、920℃で圧延を終了後、0.5℃/秒で空冷した板厚12mmの鋼板を使用した。これらの鋼板から外径30mm、幅8mmの西原式摩耗試験片を採取し、接触荷重250kg、すべり率10%、潤滑剤無しの条件で摩耗試験を行い、10万回転後の摩耗減量を測定した。評価においてはパーライトレールの摩耗減量を測定し、パーライトレールに対する供試鋼の摩耗減量比を求めた。

【0039】

【表3】

鋼No.	化 学 成 分 (重量%)									HV	備考
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Mn/S		
3-1	0.25	0.25	1.40	0.59	0.20	0	0.05	0.01	5.60	220	* 比較例
3-2	0.34	0.65	1.37	0.65	0.13	0.14	0.15	0.15	2.11	381	* 比較例
3-3	0.39	0.34	1.80	0.87	0	0	0.09	0.02	5.29	402	本発明例
3-4	0.34	0.29	1.54	0.97	0	0.65	0.08	0	5.31	430	本発明例
3-5	0.35	0.95	2.51	0.51	0.20	0.07	0.07	0.08	2.64	445	本発明例
3-6	0.40	0.65	2.12	1.07	0.40	0.68	0.05	0	3.26	472	本発明例
3-7	0.31	0.81	1.64	0.82	0	1.05	0.15	0.11	2.02	507	* 比較例
3-8	0.34	0.55	2.25	0.84	0	0.75	0.06	0.09	4.09	550	* 比較例
3-9	0.37	0.64	2.55	0.75	0	0.65	0.09	0	3.98	571	* 比較例
3-10	0.72	0.35	0.95	0.21	0	0	0	0.05	2.71	380	* 比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0040】熱処理型パーライトレールの硬さはHV380程度である。図3(a)から理解できるように、硬さの増加に伴い摩耗減量比が減少しており、同一硬さにおいてはパーライト鋼よりもベイナイト鋼のほうが摩耗減量比が大きい。ただし、ベイナイト鋼の硬さがHV400以上であれば、熱処理型パーライトレールと同等の耐摩耗性が得られる。

【0041】また頭頂部、頭部コーナー部について、硬さを意図的に変えて車輪との接触状況をコントロールしようとする試みが行われているが、実路線においては車輪とレールの接触は状況によって常に変化しており、頭部の硬さを変化させて接触状況をコントロールしてレール寿命を伸ばすことは実質的に難しい。従って、頭頂部、頭部コーナー部いずれの位置においても均一な硬さ分布とした。

【0042】耐損傷性の評価としてフレーキング発生寿

※命におよぼす組織、硬さの影響を図3(b)に示す。供試鋼は図3(a)と同一のものをを用いた。損傷の評価には、接触面に半径15mmの曲率を付与した西原式摩耗試験片を用い、油潤滑、接触荷重100kg、すべり率20%の条件で試験を行い、損傷の発生した時間を測定した。本図に示すように、ベイナイト鋼はパーライト鋼に比べて同一硬さにおいてフレーキング発生寿命は長い。またベイナイト鋼でHV400以上とすることで現用のパーライト鋼の2倍の寿命が得られる。

【0043】以上の耐摩耗性、耐損傷性の観点からベイナイト鋼においてHV400以上が必要であり、接合性の観点からはHV500以下が求められているため、硬さの範囲はHV400~500である。

【0044】金属組織: ベイナイト

ベイナイト組織は従来レールのパーライト組織と比較して同一引張強度レベルで比較した場合、疲労強度が高

く、耐損傷性に有効であること、高強度にすることにより摩耗量をパーライト組織と同等にできることからマイクロ組織（金属組織）はベイナイト組織である。

【0045】上記の成分組成範囲、硬さ及び金属組織に調整することにより、フラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強度ベイナイトレールを得ることが可能となる。このような特性のレールは以下の製造方法により製造することができる。

【0046】(2)レール製造工程

(製造方法) 上記の成分組成範囲に調整した鋼を転炉で溶製し、連続鋳造にてスラブとした後、圧延仕上温度が800～1000℃となるように熱間圧延し、ベイナイト変態開始点以上の温度から200℃以下までを空冷以上5℃/秒以下の冷却速度で冷却する。

【0047】a. 圧延仕上温度：800～1000℃
圧延仕上温度が800℃未満では圧延時の熱間変形抵抗が高くなり、レールとしての寸法精度を満たせない。また圧延仕上温度が1000℃を超えるとオーステナイト粒が粗大化し、靱性が劣化する。従って、圧延仕上温度は800～1000℃である。

【0048】b. 冷却速度：空冷以上5℃/秒以下
冷却速度は、空冷以上5℃/秒以下の冷却速度の範囲においてベイナイト組織が得られ所望の強度、靱性が確保できる。しかし、5℃/秒を超えるとマルテンサイトが生成し靱性が著しく低下する。従って、冷却速度は空冷以上5℃/秒以下である。

【0049】以下に本発明の実施例を挙げ、本発明の効果を立証する。

【0050】なお、本文、図、表中で、HVはビッカース硬さ、RAは接合性評価としてフラッシュバット溶接後の接合面の引張試験における絞り値を表している。

【0051】

【実施例】(実施例1) 表4に示す成分を有する供試鋼*

表 4

鋼No.	化 学 成 分 (重量%)									備考
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Mn/Si	
4-1	0.22*	0.50	1.50	0.60	0.20	0.50	0.05	0.08	3.00	比較例
4-2	0.25	0.75	1.20	0.75	0.13	0.80	0.15	0.15	2.07	本発明例
4-3	0.31	0.34	1.80	0.88	0	0	0.09	0.02	5.29	本発明例
4-4	0.39	0.24	1.35	0.91	0.30	0.50	0.07	0	5.63	本発明例
4-5	0.68*	0.45	0.95	0.47	0.20	0.11	0.12	0.16	2.11	比較例
4-6	0.77*	0.60	1.50	0.31	0	0	0.05	0.07	2.50	比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

* (No. 4-2～4: 本発明例、No. 4-1, 5, 6: 比較例) を1250℃に加熱し、920℃で圧延を終了後、2℃/秒で加速冷却した板厚12mmの鋼板を使用し、硬さ測定、摩耗試験、フレーキング試験、接合性評価試験を行った。摩耗試験については、外径30mm、幅8mmの試験片を圧延鋼板より採取し、鉄道車輪材から同一寸法のタイヤ試験片を採取して、これらを西原式摩耗試験機を用いて、すべり率10%、接触荷重250kg、潤滑剤無しの条件で試験を行い、10万回転後の摩耗減量を測定した。なお、比較として行ったHV380のパーライト組織のレール鋼の摩耗減量との比をとることで摩耗減量比を求めている。またフレーキング試験は外径30mm、幅8mm、接触面に半径15mmの曲率を付与した試験片を用い、油潤滑条件下、すべり率10%、接触荷重100kgで摩耗試験を行い、接触面に損傷が発生する時間を測定し、耐損傷性の評価とした。硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性を表5に示す。

【0052】本発明よりもC量が低い比較例No. 4-1については、硬さがHV371と本発明の下限値未満であり、摩耗減量比も1.81と高く実用に適さない。また、本発明よりもC量が高い比較例No. 4-5, 6についてはマイクロ組織がパーライト組織を呈しており、摩耗特性は優れているものの耐損傷性に劣る。

【0053】これに対し、成分が本請求範囲を満たす本発明例No. 4-2, 3, 4は硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命のいずれも優れた値を示している。接合性に関してはMn%/Si%はいずれも2～6であり、またHVも500以下であることから十分な値を示している。

【0054】

【表4】

【0055】

※ ※【表5】

表 5

鋼No.	HV	摩耗減量比	フレーキング発生寿命(hr)	接合性(%)	ミクロ組織	備考
4-1	371*	1.81*	13	35	ベイナイト	比較例
4-2	468	0.85	12	28	ベイナイト	本発明例
4-3	422	0.95	11.5	25	ベイナイト	本発明例
4-4	490	0.80	13	30	ベイナイト	本発明例
4-5	495	0.85	5	22	パーライト*	比較例
4-6	385*	1.00	4.5	20	パーライト*	比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0056】(実施例2)表6に示す成分を有する供試鋼(N_o. 6-2~6, 9, 10, 13:本発明例、N_o. 6-1, 7, 8, 11, 12, 14:比較例)について実施例1と同様に硬さ測定、摩耗試験、フレーキング試験、接合性評価試験を行った。硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性を表7に示す。

【0057】供試鋼は全てベイナイト組織を呈している。Mn、Cr、Nbの含有量が本請求範囲よりも低い比較例N_o. 6-1, 8, 11は接合性は高い値を示すものの硬さが低く、摩耗減量比がそれぞれ3.15、3.45、3.22と高い値を示す。

【0058】それに対し、Mn、Cr、Nbの含有量が*

表 6

*本発明の請求範囲を満たす本発明例N_o. 6-2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 13は硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性のいずれも優れた値を示している。

【0059】しかし、Cr、Nbの含有量が本請求範囲よりも高い比較例N_o. 6-12, 14ではCr、Nbによる耐摩耗性、耐フレーキング性の向上効果が飽和しており、特性向上は認められない。またMnの高い比較例N_o. 6-7ではMn%/Si%が6を超えているため接合性が低下している。

【0060】

【表6】

鋼No.	化 学 成 分 (重量%)									備考
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Mn/Si	
6-1	0.25	0.20	0.58*	1.00	0.20	0.60	0.140	0.13	2.90	比較例
6-2	0.27	0.52	1.20	0.75	0.13	0.80	0.150	0.15	2.31	本発明例
6-3	0.31	0.36	2.10	0.88	0	0	0.090	0.02	5.83	本発明例
6-4	0.35	0.24	1.40	0.91	0.30	0.50	0.070	0	5.83	本発明例
6-5	0.37	0.80	1.95	0.50	0.20	0.11	0.120	0.16	2.44	本発明例
6-6	0.39	0.94	2.00	0.65	0.40	0	0.050	0	2.13	本発明例
6-7	0.25	0.21	3.60*	0.51	0.20	0	0.050	0	17.14*	比較例
6-8	0.27	0.45	1.20	0.03*	0.13	0.50	0.150	0.15	2.67	比較例
6-9	0.31	0.55	2.10	0.88	0	0	0.090	0.02	3.82	本発明例
6-10	0.35	0.24	1.35	0.91	0.30	0.50	0.070	0	5.63	本発明例
6-11	0.37	0.90	1.95	0.50	0.20	0	0.009*	0.05	2.17	比較例
6-12	0.39	0.65	1.50	2.25*	0.40	0.55	0.160*	0	2.31	比較例
6-13	0.25	0.72	1.95	0.52	0.20	0.35	0.120	0.16	2.71	本発明例
6-14	0.31	0.50	1.50	1.05	0.40	0.60	0.160*	0	3.00	比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0061】

※ ※【表7】

表 7

鋼No.	H V	摩耗減量比	フレーキング発生寿命 (hr)	接合性 (%)	ミクロ組織	備考
6-1	369 *	3.15*	12	35	ベイナイト	比較例
6-2	469	0.85	13	28	ベイナイト	本発明例
6-3	422	0.98	12.5	25	ベイナイト	本発明例
6-4	474	0.70	13.5	30	ベイナイト	本発明例
6-5	479	0.66	14	25	ベイナイト	本発明例
6-6	425	0.97	13	20	ベイナイト	本発明例
6-7	473	0.75	13.5	4 *	ベイナイト	比較例
6-8	357 *	3.45*	12	28	ベイナイト	比較例
6-9	422	0.98	13	25	ベイナイト	本発明例
6-10	474	0.80	13.5	30	ベイナイト	本発明例
6-11	386 *	3.22*	11.5	21	ベイナイト	比較例
6-12	474	0.75	13	20	ベイナイト	比較例
6-13	475	0.68	13.5	24	ベイナイト	本発明例
6-14	456	0.90	12	22	ベイナイト	比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0062】(実施例3)表8に示す成分を有する供試鋼(N_o. 8-1~4, 7, 8, 10:本発明例、N_o. 8-5, 6, 9, 11:比較例)について実施例1と同様に硬さ測定、摩耗試験、フレーキング試験、接合性評価試験を行った。硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性を表9に示す。

【0063】供試鋼はすべてベイナイト組織を呈している。本発明例N_o. 8-1はNi、Mo、Vを添加していないが本請求範囲内の成分であり、硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性のいずれも請求範囲内の値を示している。Ni、Moの1種または2種の添加量が請求範囲を満たしている本発明例N_o. 8-2, 3, 4, 7は硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性のいずれも請求範囲内の値を示しており、かつ本発明例N_o. 8-1より優れた値を示している。*

表 8

鋼No.	化 学 成 分 (重量%)									備考
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Mn/Si	
8-1	0.31	0.75	3.49	0.50	0	0	0.10	0	4.65	本発明例
8-2	0.31	0.36	1.48	0.49	0.09	0	0.11	0	4.11	本発明例
8-3	0.37	0.19	1.10	0.88	0.21	0	0.09	0	5.79	本発明例
8-4	0.27	0.67	1.80	0.91	0	0.51	0.07	0	2.69	本発明例
8-5	0.35	0.37	1.95	0.50	1.10*	0	0.12	0	5.27	比較例
8-6	0.31	0.14	0.61	0.51	1.40*	0.09	0.08	0	4.36	比較例
8-7	0.33	0.85	3.40	0.51	0.30	0.11	0.05	0	4.24	本発明例
8-8	0.31	0.15	0.75	0.51	0	0	0.12	0.09	5.00	本発明例
8-9	0.33	0.29	1.49	0.88	0	2.05*	0.09	0	5.14	比較例
8-10	0.27	0.28	1.20	0.91	0	0	0.07	0.13	4.29	本発明例
8-11	0.27	0.49	1.75	0.88	0	0	0.07	0.21*	3.57	比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0065】

※ ※【表9】

*Ni、Moの添加量が本請求範囲を超える比較例N_o. 8-5, 6, 9は硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性が本発明例N_o. 8-4, 7と同等であり、Ni、Mo添加の効果が飽和している。Vの添加量が請求範囲を満たしている本発明例N_o. 8-8, 10は硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性のいずれも請求範囲内の値を示しており、かつ本発明例N_o. 8-1, 7より優れた値を示しているが、Vの添加量が本請求範囲を超える比較例N_o. 8-11は硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性が本発明例N_o. 8-10と同等であり、V添加の効果が飽和している。

【0064】

【表8】

表 9

鋼No.	HV	摩耗減量比	フレーキング発生寿命 (hr)	接合性 (%)	ミクロ組織	備考
8-1	415	0.97	11.5	30	ベイナイト	本発明例
8-2	416	0.97	12	32	ベイナイト	本発明例
8-3	432	0.81	13.5	25	ベイナイト	本発明例
8-4	444	0.70	14	30	ベイナイト	本発明例
8-5	442	0.71	14	29	ベイナイト	比較例
8-6	443	0.70	14	32	ベイナイト	比較例
8-7	486	0.75	13.5	35	ベイナイト	本発明例
8-8	487	0.74	13.5	37	ベイナイト	本発明例
8-9	485	0.77	13.5	36	ベイナイト	比較例
8-10	484	0.73	14	37	ベイナイト	本発明例
8-11	482	0.78	13.5	34	ベイナイト	比較例

【0066】(実施例4)表10に示す成分を有する供試鋼(N_o. 10-2, 3, 5, 6:本発明例、N_o. 10-1, 4, 7, 8:比較例)について実施例1と同様に硬さ測定、摩耗試験、接合性評価試験を行った。硬さ、摩耗減量比、接合性を表11に示す。供試鋼はすべてベイナイト組織でHV400~500を呈している。Si量が本発明の請求範囲を満たしており、かつMn%/Si%が2~6の範囲内である本発明例N_o. 10-*

表 10

鋼No.	化 学 成 分 (重量%)									備考
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Mn/Si	
10-1	0.31	1.05*	2.50	0.55	0.15	0	0.02*	0	2.38	比較例
10-2	0.25	0.46	1.42	0.95	0	0.65	0.07	0	3.09	本発明例
10-3	0.37	0.63	1.75	0.75	0.11	0.21	0.06	0	2.78	本発明例
10-4	0.25	0.46	3.40	0.55	0	0	0.05	0	7.39	比較例
10-5	0.35	0.35	1.09	0.50	0.32	0.84	0.07	0	3.11	本発明例
10-6	0.31	0.28	0.79	0.51	0	1.75	0.09	0	2.82	本発明例
10-7	0.33	0.52	0.94	0.51	0.18	1.25	0.12	0	1.81*	比較例
10-8	0.31	0.10	2.03	0.35	0	0.55	0.17*	0	20.30*	比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0069】

【表11】

表 11

鋼No.	HV	摩耗減量比	接合性 (%)	ミクロ組織	備考
10-1	474	0.84	4*	ベイナイト	比較例
10-2	432	0.91	32	ベイナイト	本発明例
10-3	463	0.81	25	ベイナイト	本発明例
10-4	496	0.80	3*	ベイナイト	比較例
10-5	409	0.95	25	ベイナイト	本発明例
10-6	472	0.85	37	ベイナイト	本発明例
10-7	418	0.94	3*	ベイナイト	比較例
10-8	457	0.89	4*	ベイナイト	比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0070】(実施例5)表12に本発明の成分条件を満たす本発明例N_o. 12-1, 2鋼を示す。表13に、この2鋼種について圧延仕上温度を760~1030℃まで変化させ実際にレール形状に圧延し、その後冷却速度を空冷~6.5℃/秒まで変化させ製造したレールの硬さ、摩耗減量比、フレーキング発生寿命、接合性を示す(N_o. 2~6, 8~10, 12:本発明例、N_o. 1, 7, 11, 13:比較例)。摩耗減量比、フレーキング発生寿命は圧延材頭部から実施例1に示したサ※

*2, 3, 5, 6は硬さ、摩耗減量比、接合性のいずれも優れた値を示している。

【0067】しかしSi量が1%を超える比較例N_o. 10-1、Mn%/Si%が2未満もしくは6を超えている比較例N_o. 10-4, 7, 8は接合性が劣っている。

【0068】

【表10】

※サンプルを採取し、実施例1と同様の試験法により評価している。

30 【0071】条件1(比較例N_o. 1)は冷却速度は条件を満足しているが圧延仕上温度を満足していないために、接合性は良好なものの、摩耗特性が劣っている。

【0072】条件2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12(本発明例N_o. 2~6, 8~10, 12)は共に圧延仕上温度、冷却速度を満足しているため、硬さ、耐摩耗性、耐フレーキング性は良好であり、接合性も優れている。

【0073】条件7, 11(比較例N_o. 7, 11)は圧延仕上温度は条件を満足しているものの冷却速度が早すぎるためにHVが500以上の値となり、耐摩耗性、耐フレーキング性は良好であるが、接合性が劣化する。また条件13(比較例N_o. 13)は圧延仕上温度が高く、組織が粗いために焼入性が高くなり、HVが500を超えており接合性が悪い。

【0074】

【表12】

表 12

鋼No.	化 学 成 分 (重量%)									備考
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Mn/Si	
12-1	0.34	0.35	1.51	1.02	0	0.76	0.10	0	4.31	本発明例
12-2	0.36	0.55	1.84	0.35	0	0.61	0.09	0	3.35	本発明例

【0075】

* * 【表13】

表 13

条件	鋼No.	圧延仕上 温度 (°C)	冷却速度 (°C/秒)	フレーキング 発生寿命(hr)	HV (%)	摩耗減 量 比	接合性	備考
1	12-1	760 *	0.5	9.5	320 *	3.11*	31	比較例
2	12-2	810	2.6	12	432	0.95	27	本発明例
3	12-1	820	1.7	11.5	427	0.97	32	本発明例
4	12-2	845	2.5	13	445	0.85	27	本発明例
5	12-1	850	1.1	12	433	0.91	31	本発明例
6	12-2	867	0.8	12	438	0.92	28	本発明例
7	12-1	870	5.7 *	12	512 *	0.65	5	比較例
8	12-2	885	0.4	12	441	0.90	31	本発明例
9	12-1	910	1.1	12.5	445	0.91	26	本発明例
10	12-2	935	1.8	13	451	0.86	21	本発明例
11	12-1	955	6.8 *	12	553 *	0.55	4*	比較例
12	12-2	985	2.4	12	463	0.81	18	本発明例
13	12-1	1030*	1.2	13	521 *	0.62	5	比較例

注) *印は本発明の範囲から外れていることを表す。

【0076】

※およぼすSiの影響を示す図、(b)は、フラッシュバ

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、
鋼組成、硬さ、金属組織、及び製造条件を特定すること
により、フラッシュバット溶接部の接合性に優れた高強
度ベイナイトレールを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

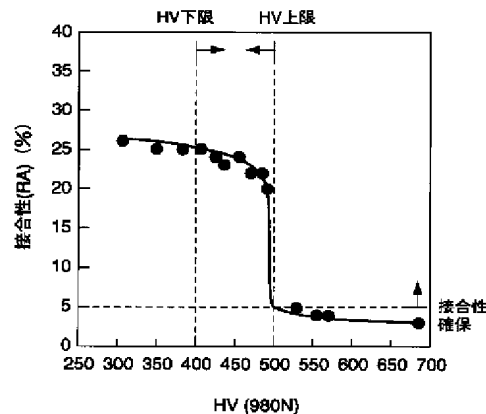
【図1】(a)は、フラッシュバット溶接時の接合性に※

ット溶接時の接合性におよぼすMn%/Si%の影響を
示す図。

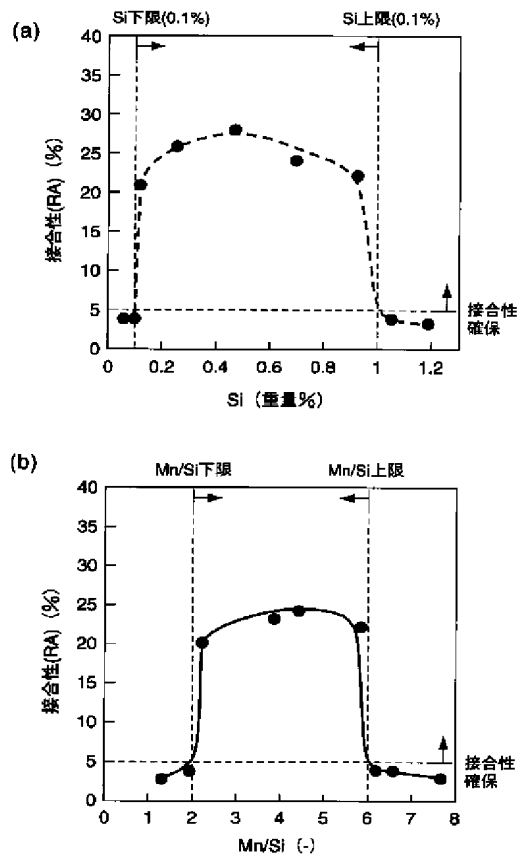
【図2】溶接時の接合性に及ぼす硬さの影響を示す図。

【図3】(a)は摩耗減量比に及ぼす硬さの影響を示す
図、(b)はフレーキング発生寿命におよぼす組織、硬
さの影響を示す図。

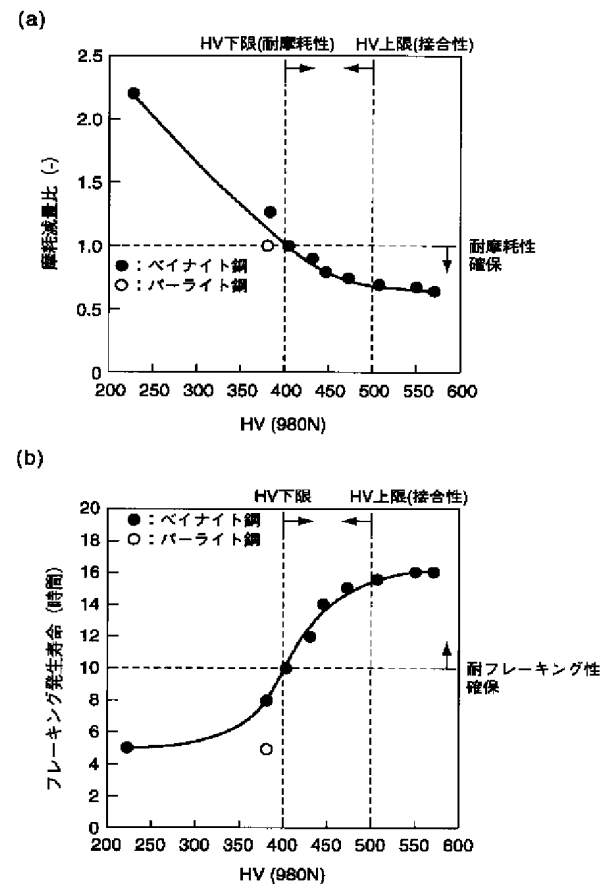
【図2】



【図1】



【図3】



PAT-NO: JP02001098342A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001098342 A
TITLE: HIGH STRENGTH BAINITIC RAIL
EXCELLENT IN JOINABILITY OF
FLASH BUTT WELD ZONE AND
PRODUCING METHOD THEREOF
PUBN-DATE: April 10, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
YOKOYAMA, HIROYASU	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
NKK CORP	N/A

APPL-NO: JP11272964
APPL-DATE: September 27, 1999

INT-CL (IPC): C22C038/00 , C21D008/00 ,
C22C038/26

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a bainitic rail having the joinability in the flash butt welding equal to or above that of the conventional pearlitic rail and also having excellent wear resistance and damage resistance.

SOLUTION: This rail composed of steel contains, by weight, 0.25 to 0.4% C, 0.1 to 1% Si, 0.6 to 3.5% Mn, $\leq 0.035\%$ P, $\leq 0.035\%$ S, 0.05 to 2% Cr and 0.05 to 0.15% Nb, and consists of a steel satisfying the following inequality (1). The rail head has a bainitic structure, and hardness is controlled to 400 to 500 HV in both positions of the rail top part and head corner parts: $2 \leq \text{Mn}\% / \text{Si}\% \leq 6$ (1).

COPYRIGHT: (C) 2001, JPO